



MARIA STELLA XAVIER DE ARAUJO SOUZA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE
GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS
ESTADOS DE GOIÁS E MINAS GERAIS PELO
MÉTODO GGEbiplot**

LAVRAS - MG

2015

MARIA STELLA XAVIER DE ARAÚJO SOUZA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-
DE-AÇÚCAR NOS ESTADOS DE GOIÁS E MINAS GERAIS PELO
MÉTODO GGEbiplot**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – Mestrado Profissional, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Coorientador

Dr. Mauro Sérgio Oliveira Leite

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Maria Stella Xavier de Araujo.

Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar
nos estados de Goiás e Minas Gerais pelo método GGEbiplot /
Maria Stella Xavier de Araujo Souza. – Lavras : UFLA, 2015.
67 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador: José Airton Rodrigues Nunes.
Bibliografia.

1. Interação genótipo x ambiente. 2. Cerrado brasileiro. 3.
Estratificação ambiental. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

MARIA STELLA XAVIER DE ARAÚJO SOUZA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-
DE-AÇÚCAR NOS ESTADOS DE GOIÁS E MINAS GERAIS PELO
MÉTODO GGEbiplot**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – Mestrado Profissional, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de julho de 2015.

Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade UFLA

Dr. Mauro Sérgio de Oliveira Leite UFV

Dr. José Airton Rodrigues Nunes - UFLA
Orientador

LAVRAS - MG

2015

A Deus, por sustentar minha força e fé diante dos desafios.

Ao meu filho Arthur por me proporcionar amor em seu pleno significado, pela sua presença em minha vida, pelo seu sorriso, alegria e energia que me impulsionam.

Ao meu esposo Vinicius pelo companheirismo e dedicação singular a nossa família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Programa em Genética e Melhoramento de Plantas, pelo pioneirismo e inovação na categoria de Mestrado Profissional, possibilitando acesso ao conhecimento e capacitação científica.

Ao meu orientador, Prof. José Airton Rodrigues Nunes, pelo exemplo de dedicação e competência acadêmica, pela paciência na orientação via presencial e remota.

Aos professores do Departamento de Biologia pelos ensinamentos compartilhados, e aos monitores das disciplinas pela disposição e contribuição sempre imediata.

A Monsanto do Brasil por conceder esta oportunidade de desenvolvimento profissional, especialmente ao meu gestor Urubatan Klink.

Aos colegas de trabalho da Monsanto, pesquisadores de campo, pelo exemplo de empenho e dedicação transformados em números e observações.

De forma ímpar e exclusiva ao Mauro Leite pela amizade, incondicional apoio e dedicação, minha sincera gratidão.

As colegas de curso Ana Rizzato, Viviane Oliveira, em especial à Maria Luiza pelos aprendizados, conversas e ajuda nas “infinitas” listas de exercícios e análises.

Ao Vinicius pelo amor e apoio incondicional, pela excelência na dedicação em cuidar do Arthur nos momentos em que estive ausente, desempenhando tão bem seu papel de PAI. Por estar ao meu lado e tornar minhas conquistas tangíveis e minha vida mais completa.

Aos meus pais que, em sua simplicidade, ensinaram-me que ética é um valor inegociável, pelo exemplo que recebi de meu pai em ter o privilégio de

trabalhar no campo e pela lição de que é necessário dedicação, força e coragem para enfrentar os desafios da vida.

Às minhas irmãs que, mesmo a distância, sempre torceram pelo meu sucesso, independente das minhas decisões profissionais ou pessoais.

Ao Flávio, por ser mais que um amigo, pelas aventuras e inúmeras conversas sobre os mais variados assuntos e por agregar ao longo destes anos a Silvinha a esta jornada.

Aos amigos Kamyla e Alessandro pela amizade, por entenderem e compartilharem a intensidade da vida corporativa, pelos momentos de reflexão e diversão.

A todos que de alguma forma contribuíram e apoiaram para que a realização deste trabalho fosse possível, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Nos últimos anos tem sido observada uma expansão do cultivo da cana-de-açúcar para o cerrado brasileiro. Com isso, o desenvolvimento de programas de melhoramento, voltados para esta região, tornou-se um tema de elevada importância, gerando uma demanda emergencial às entidades e empresas de pesquisa. Ante o exposto, objetivou-se neste trabalho identificar clones de cana-de-açúcar que associem adaptabilidade e estabilidade na região do cerrado e identificar os locais mais representativos para seleção e estruturação de uma rede de experimentação para essa região. Foram utilizados dados de experimentos instalados em seis locais nos Estados de Goiás e Minas Gerais. Foram considerados os caracteres toneladas de pol por hectare (TPH) e toneladas de cana por hectare (TCH). Foram realizadas as análises de variância individuais, para cada ambiente de produção, bem como a análise conjunta para os dados de cana-planta e cana-soca. Procedeu-se à análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia GGE Biplot. Foi possível identificar um genótipo com alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade em ao menos três ambientes dos locais avaliados, com significativa superioridade comparada às testemunhas. As avaliações, para o caráter TPH na interrelação dos genótipos e ambientes, mostraram-se mais discriminantes em relação ao caráter TCH. Para TPH foi encontrado um número maior de megaambientes (4), comparado a TCH (2), indicando que a capacidade de acúmulo de sacarose dos genótipos sofre grande influência do ambiente.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Interação genótipo x ambiente. Cerrado brasileiro. Estratificação ambiental.

ABSTRACT

In recent years, an expansion has been observed in the cultivation of sugarcane in the Brazilian Cerrado. With this, the development of breeding programs aimed at this region has become a very important theme, generating emergency demand for research entities and companies. The objective of this work was to identify sugarcane clones that associate adaptability and stability in the Cerrado region, as well as the more representative locations for selecting and structuring an experimentation network for this region. We used data from experiments installed at locations within the states of Goiás and Minas Gerais. Tons of pol per hectare (TPH) and tons of stalk sugarcane per hectare (TSH) were considered. Individual analyses of variance were conducted for each production environment, in addition to the analysis of adaptability and stability by means of the GGE Biplot methodology. It was possible to identify a high productivity, stability and adaptability genotype in at least three of the evaluated locations, with superior significance when compared to the witnesses. The evaluations for TPH trait in the inter-relations of genotype and environment were more discriminating than the TSH trait. We found a higher number of mega-environments for TPH (4) when compared to TSH (2), indicating that the capacity for accumulating sucrose of the genotypes is highly influenced by the environment.

Keywords: *Saccharum* spp. Interaction genotype x environment. Brazilian Cerrado. Environmental stratification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição dos municípios onde foram conduzidos os experimentos nos Estados de Goiás e Minas Gerais	33
Figura 2	Dados de precipitação mensal (mm) observados durante o ciclo de condução dos experimentos	33
Figura 3	Precipitação acumulada referente ao período de condução dos experimentos em seus respectivos ambientes e cortes.....	34
Figura 4	Dados históricos de temperatura (°C) média anual mínima e máxima observados nos municípios de condução dos experimentos	35
Figura 5	Performance média vs Estabilidade dos genótipos (TPH).....	50
Figura 6	Performance média vs Estabilidade dos genótipos (TCH)	51
Figura 7	Discriminação e representatividade dos ambientes (TPH)	52
Figura 8	Discriminação e representatividade dos ambientes (TCH).....	53
Figura 9	Polígono do GGEbiplot com representação gráfica “ <i>Quem venceu ou foi melhor onde</i> ” para carácter TPH	55
Figura 10	Representação gráfica “ <i>Quem venceu ou foi melhor onde</i> ” para carácter TCH	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Identificação, localização e dados geográficos dos experimentos de competição.....	32
Tabela 2	Caracterização das testemunhas utilizadas nos experimentos quanto à produtividade agrícola (PROD), época de colheita (EC), brotação da soca (BS), florescimento (FLOR), chochamento (CHO), nível de exigência de ambiente (EXA), teor de sacarose (POL)	36
Tabela 3	Data de colheitas do primeiro (cana-planta) e segundo (cana-soca) corte.....	38
Tabela 4	Resumo da análise de variância para Toneladas de Pol por hectare (TPH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar em 6 ambientes diferentes em primeiro corte (cana-planta).....	42
Tabela 5	Resumo da análise de variância dos caracteres tecnológicos (TPH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos ambientes E1, E2, E3, E4, E5 e E6 em segundo corte (cana-soca).....	42
Tabela 6	Resumo da análise de variância dos caracteres agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos ambientes E1, E2, E3, E4, E5 e E6 em primeiro corte (cana-planta)	43
Tabela 7	Resumo da análise de variância dos caracteres agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos ambientes E1, E2, E3, E4, E5 e E6 em segundo corte (cana-soca).....	43

Tabela 8	Resumo da análise de variância dos caracteres tecnológicos (TPH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos seis ambientes em primeiro e segundo corte (cana planta e soca)	44
Tabela 9	Resumo da análise de variância dos caracteres agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos seis ambientes em primeiro e segundo corte (cana planta e soca)	45
Tabela 10	Resumo da análise de variância conjunta dos caracteres tecnológicos (TPH) e agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos seis ambientes em primeiro e segundo corte (cana planta e soca)	45
Tabela 11	Médias ajustadas para TPH para primeiro e segundo corte considerando os ambientes avaliados	47
Tabela 12	Médias ajustadas para TCH para primeiro e segundo corte considerando os ambientes avaliados	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Centro de origem e dispersão da cultura da cana-de-açúcar	17
2.2	Melhoramento genético da cana-de-açúcar	18
2.3	Cultivares comerciais de cana-de-açúcar: área tradicional x expansão	21
2.4	Interação genótipo x ambiente	24
2.5	Estresses abióticos	26
2.6	Adaptabilidade e estabilidade em cana-de-açúcar	28
2.7	Método GGEbiplot	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Localização dos experimentos	32
3.2	Genótipos avaliados, plano experimental e condução	35
3.3	Obtenção das variáveis quantitativas	37
3.4	Caracteres avaliados	38
3.5	Análise dos dados	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Análises de variância	41
4.2	Análises via GGEbiplot	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
6	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A demanda por etanol no Brasil vem sendo acentuada. No setor automobilístico, o país possui um programa de larga escala de fabricação de veículos com motores que utilizam esse combustível na forma direta (etanol hidratado), ou adicionado à gasolina (etanol anidro), utilizando a tecnologia conhecida como Flex Fuel (BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO - BNDES, 2008). No campo da política, têm sido aprovadas mudanças na legislação que vêm incrementando a porcentagem de mistura do etanol à gasolina, que passou a ser de 27,5% a partir de 2015 (BRASIL, 2015b). Estes fatos são contundentes e explicativos da expansão observada das áreas de cultivo com cana-de-açúcar, principal matéria-prima utilizada para a produção de etanol nos últimos anos no Brasil. Somam-se, ainda, a necessidade de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, fortalecendo a matriz energética e a maior preocupação ou atenção com as questões ambientais, neste último caso voltado para o uso de combustíveis menos poluentes, com menor emissão de CO₂ para a atmosfera e, por conseguinte, que menos contribuam para o fenômeno do aquecimento global.

O Brasil é maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China. É, também, o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar, sendo responsável por mais de 50% do açúcar comercializado no mundo. O Estado de São Paulo concentra, aproximadamente, 50% da produção, porém a cultura está presente em todas as regiões do país. A área cultivada com cana-de-açúcar, que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/16, será de, aproximadamente, nove milhões de hectares. São Paulo permanece como o maior produtor com 51,8% (4,6 milhões de hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 10,1% (0,9 milhões de hectares), Minas Gerais com 8% (0,71 milhões de hectares), Mato Grosso do Sul com 8% (0,71 milhões

de hectares) e Paraná com 6,8% (0,61 milhões de hectares) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

Vale salientar que, com o crescimento do cultivo da cana, tem-se vivenciado o surgimento de outros produtos, como o etanol de segunda geração produzido a partir do bagaço e palha da cana-de-açúcar, além da geração de energia por biomassa que se tornou um excelente negócio nos últimos anos. Em decorrência da seca e consequente queda de capacidade de geração de energia das hidrelétricas, a cogeração de energia por biomassa de cana-de-açúcar ganhou força com preços atrativos para as usinas, cada vez mais consideradas unidades sucroenergéticas. De 389 usinas do setor, 170 fornecem energia para o sistema elétrico brasileiro, algo em torno de 40% do total de usinas. A geração de energia é uma realidade entre as grandes empresas do setor com capacidade de moagem acima das três milhões de toneladas de cana-de-açúcar (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2015).

Grandes grupos do setor sucroenergético encontraram no Cerrado uma grande oportunidade e potencial para expansão. Porém, logo vieram os desafios da produção agrícola da cultura nestes novos ambientes de cultivo. Dentre os desafios gerais estão a necessidade de mecanização, estrutura e logística para escoamento da safra, baixa disponibilidade de mão de obra especializada, regiões com alto déficit hídrico e predominância de ambientes de produção restritivos ou intermediários. O desafio mais específico e, talvez, mais importante tem sido a adequação do manejo varietal, uma vez que as cultivares disponíveis foram obtidas e desenvolvidas para a região de cultivo tradicional (Estado de São Paulo). Por isso, o desenvolvimento de programas de melhoramento, voltados para região do cerrado, tornou-se um tema de elevada importância, gerando uma demanda emergencial às entidades e empresas de pesquisa.

O sucesso do cultivo da cana-de-açúcar se deve à utilização de cultivares, obtidas por meio de melhoramento genético clássico, desenvolvidas por instituições de pesquisas públicas e privadas em suas estações experimentais. Este é um processo complexo, visto que, dentre as espécies cultivadas, a cana-de-açúcar possui uma grande complexidade no genoma.

O número de cultivares disponíveis de uma dada espécie num país pode ser considerado com uma das medidas de avanço de sua agricultura. As cultivares são produzidas com a evolução dos negócios. Assim, o melhoramento da cana tem significativa importância no crescimento da atividade canavieira, não apenas pelo desenvolvimento de novas cultivares, que eram cinco a seis por volta de 1970 (NOBREGA; DORNELAS, 2006) e, atualmente, constam no Registro Nacional de Cultivares (RNC) 157 cultivares registradas do gênero *Saccharum spp* (BRASIL, 2015a).

Ceccarelli (2015) afirma que eficiência no melhoramento de plantas se diferencia da eficiência de seleção, embora estes termos sejam usados como sinônimos. O número de cultivares lançado tem sido a forma mais comum de mensurar a eficiência do melhoramento de plantas, por ser uma medida facilmente estimada. Outros autores como Marella e Raitzer (2010) e Morris e Heisey (2003) asseguram que uma cultivar liberada, nunca adotada por agricultores, não gera benefício. Questões como disponibilidade de sementes e adoção de variedades estão intimamente relacionadas e a indisponibilidade pode afetar diretamente a taxa de adoção. Nos países em desenvolvimento, existe uma incompatibilidade entre variedades liberadas e cultivadas, liberadas e não aprovadas pelos produtores e, ainda, cultivadas, mas não liberadas. O crescimento da taxa de adoção de cultivares vem sendo estudado e, possivelmente, um dos fatores de sucesso está ligado à seleção direta no ambiente de destino. Isso mostra que o envolvimento dos produtores e a condução dos experimentos, nos diferentes ambientes de cultivo, são de elevada

importância para o sucesso de adoção das cultivares lançadas pelos programas de melhoramento.

Segundo Leite (2011), recentemente os programas de melhoramento de cana desenvolvidos no Brasil têm adotado a estratégia de seleção regional, na qual se buscam indivíduos adaptados de forma específica a cada uma das regiões de cultivo da cultura, abrangendo o centro-sul e o nordeste brasileiro. Para tanto, o acúmulo de observações em anos sucessivos e cortes distintos (cana planta e socas) tem sido usado como principal ferramenta para o exercício de discernimento do melhorista (LANDELL et al., 2005). A seleção de cultivares regionais com estratégia semelhante é utilizada nos programas de melhoramento de cana da Austrália, Caribe e da África do Sul.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho identificar clones de cana-de-açúcar que associem adaptabilidade e estabilidade na região do cerrado e identificar os locais mais representativos para seleção e estruturação de uma rede de experimentação para essa região.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Centro de Origem e Dispersão da Cultura da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, que abrange várias espécies. É uma planta perene e própria de climas tropicais e subtropicais. Há várias espécies pertencentes ao gênero *Saccharum*: *S. officinarum* L., *S. spontaneum* L., *S. robustum* J., *S. sinnensis* R., *S. barberi* J. Figueiredo (2010) afirma que *S. sinense* e *S. barberi* são originárias de retrocruzamento de *S. officinarum* e *S. spontaneum*, mas as cultivares, hoje, em plantio comercial, são híbridas de várias espécies.

O centro de origem dessas espécies tem sido reportado por diversos autores, acredita-se que a cana-de-açúcar seja nativa do sudeste da Ásia. Embora o centro exato de origem seja incerto, há sugestões direcionadas para a Índia (Assam e Bengala), Indonésia, China e ilhas da Polinésia, Fuji e Taiti. As afirmações são divergentes quanto aos países de origem, todavia, não há contradições nas citações da Ásia, como centro de origem. A introdução da cana-de-açúcar no continente Americano ocorreu em 1493, na segunda viagem de Cristóvão Colombo, o qual levou colmos de cana da Ilha da Madeira para a região onde atualmente é denominada República Dominicana. Já a chegada da cana-de-açúcar ao Brasil ocorreu junto aos primeiros trinta anos de colonização e exploração do país, o que se afirma é que oficialmente as primeiras mudas de cana-de-açúcar foram introduzidas no país em 1532 originárias da Ilha da Madeira (FIGUEIREDO, 2010).

2.2 Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar

Segundo Landell e Bressiani (2010), é bastante antiga a busca por formas varietais que apresentem maior teor de sacarose, destacando-se, para este fim, a espécie *Saccharum officinarum*, que, até o início do século XX, era responsável por grande parte da matéria-prima mundial. Todavia, a importância do melhoramento genético, a partir de 1880, contextualizou-se pelo aparecimento de diversas doenças. Visando diminuir problemas fitossanitários, utilizaram-se dos cruzamentos interespecíficos, envolvendo espécies como *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. barberi* e *S. sinensi*; este caminho proporcionou uma significativa alteração no ideótipo varietal, mediante seleção de plantas com capacidade de perfilhamento e grande habilidade de brotação após seu corte. Colmos que apresentavam diâmetro excessivo e baixíssimo teor de fibra passaram a ter médio diâmetro, com valores médios e altos de fibra.

As primeiras hibridações foram realizadas em Java e Barbados, em 1888, dando origem aos estudos sobre florescimento, seguindo as observações anteriormente iniciadas em 1858 e 1859 nas mesmas localidades, de que a cana-de-açúcar era capaz de produzir semente viável (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

Em 1590, o Brasil possuía sessenta e seis engenhos de açúcar, a maioria deles no Nordeste. A cultivar mais plantada era a Crioula, resultado de uma hibridação natural entre *S. officinarum* e *S. barberi*, situação que perdurou por mais de duzentos anos, quando, então, foi substituída pela cultivar Caiana (*S. officinarum*). Assim, no século XIX e início do século XX, a Caiana e outras formas de *S. officinarum* predominaram nos canaviais brasileiros. Com o aparecimento da gomose e do mal de “Sereh”, no início do século XX e, em razão da alta suscetibilidade das canas nobres a essas doenças, surgiram no

mundo os primeiros programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

Nessa época, a introdução de germoplasmas originários de outros centros mundiais consistia na maneira mais rápida e econômica de obter acréscimos na produção agrícola, via melhoramento genético de plantas. A introdução de cultivares de centros de origem e a seleção, a princípio de maneira aleatória e sem critério, passaram a ser usadas como método de melhoramento, quatro séculos após o início do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil. No período de 1922 a 1928, grande parte das cultivares nobres cultivadas foi dizimada pelo vírus do mosaico (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

O surgimento de doenças no cultivo da cana-de-açúcar que afetou, significativamente, a produtividade foi a principal motivação para a criação de estações experimentais no Brasil. Em 1920, a epidemia de mosaico motivou a criação da Estação Experimental de Piracicaba consolidada em 1928. Na década de 1940 foi o carvão que impulsionou os trabalhos de melhoramento em Campos e Campinas e a criação do Instituto Agrônomo do Nordeste em 1946. Em 1970, surgiram o Programa Nacional de Melhoramento de Cana – Planalsucar, com sigla RB para suas cultivares e, em 1969, o Centro de Tecnologia Copersucar – CTC - com uso da sigla SP. Juntos esses programas representaram um grandioso salto para a agroindústria da cana. Em 1992, o Planalsucar foi transferido para algumas universidades federais, que compoem atualmente a Ridesa (Rede Universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro). Em 2004, a Copersucar abriu o seu centro de pesquisas para a participação de mais usinas e associações de produtores, passando a denominar essa nova formação de Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

No Brasil, atualmente existem cinco programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar ativos: Ridesa, CTC, IAC (Instituto Agrônomo de

Campinas), Monsanto (CanaVialis) e Syngenta, que ingressou recentemente nesse mercado.

A estratégia dos programas de melhoramento de cana-de-açúcar, de uma forma geral, são comuns, divergindo apenas em alguns pontos. Há variações na condução das etapas iniciais de seleção, principalmente com relação às taxas de seleção, tamanhos de parcela, número de locais e repetições (MATSUOKA; GARCIA; CALHEIROS, 1999). Porém todos se baseiam na seleção e clonagem de genótipos superiores, e o sucesso do programa depende de fatores que vão desde a escolha dos genitores para cruzamentos, até a precisão da condução dos ensaios e avaliações ao longo dos anos.

A maioria das características consideradas na seleção em cana-de-açúcar é de natureza quantitativa e, portanto, controladas por muitos locos, tais como produtividade, teor de sólidos solúveis, teor de sacarose, diâmetro e número de colmos, teor de fibra, resistência ao acamamento, florescimento, precocidade, resistência a pragas e doenças e tolerância a estresses abióticos (OLIVEIRA, 2006).

O processo de seleção tem início com grandes populações segregantes, compostas por grande volume de *seedlings*, que são plântulas obtidas pela germinação das sementes originadas dos cruzamentos. O número de *seedlings* plantados varia de acordo com cada programa. Para cada ensaio ou local são avaliadas em média entre 50.000 e 100.000 plantas, consideradas nesta primeira fase. O número total de plantas, produzidas por cada programa, está em torno de 300 mil a 1,5 milhões anualmente.

Oliveira (2006) afirma que, em termos genéticos, os cruzamentos devem ser planejados de tal maneira que seja maximizada a probabilidade de seleção de genótipos que podem ser liberados como cultivares comerciais. Para tanto, uma alternativa bastante usada consiste em escolher como genitores, clones com boa performance para características de interesse econômico (MATSUOKA;

GARCIA; CALHEIROS, 1999), o que evidentemente ocorre para as cultivares usadas comercialmente. De forma geral, os programas são conduzidos com baixa taxa de seleção, porém de alta intensidade nas etapas iniciais, realizando-a basicamente para os caracteres de alta herdabilidade. A diminuição da intensidade de seleção ocorre com o avanço das fases ao longo dos anos e melhoria da precisão experimental. Ao final do processo, ocorre a recomendação da cultivar, que, no caso da cultura da cana-de-açúcar, leva de 10 a 12 anos, após sucessivas análises de resultados experimentais em diferentes locais. Em paralelo ao melhoramento convencional, não se pode deixar de contextualizar a importância da transgenia que atua não só com a inserção de genes exógenos à planta, mas na ativação ou no silenciamento de genes da própria cana. Diversas linhas de pesquisa têm sido conduzidas, como, por exemplo, para obter cultivares com paredes celulares que facilitem a extração de etanol de segunda geração, em estudos conduzidos por Buckeridge da Universidade de São Paulo. Já um grupo de Pesquisadores do Bioen (Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia) estudam genes relativos à parede celular que podem incorporar as variedades de cana características semelhantes aos frutos climatéricos, que apresentam acréscimo significativo nos teores de açúcares depois da colheita (OLIVEIRA, 2012).

2.3 Cultivares comerciais de cana-de-açúcar: área tradicional x expansão

Parte do aumento da produtividade se deve à obtenção de novas cultivares, daí a importância que se deve dar aos programas de melhoramento, gerando o que se denomina progresso genético. Outra parte se deve à melhoria nas técnicas agrônomicas (preparo de solo, uso de mudas de boa qualidade, técnicas de plantio e manejo da cultura), gerando o que se denomina progresso tecnológico de campo ou agrônomico. Há influências ambientais (clima, solo,

anos) e suas interações com o genótipo que precisam ser fortemente consideradas (PERECIN et al., 2009).

Para que o setor sucroalcooleiro alcance os níveis de produtividade necessários ao equilíbrio e rentabilidade de sua cadeia de produção, a seleção de novas cultivares se torna fundamental, notadamente em face à degenerescência das cultivares utilizadas em cultivo intensivo (RESENDE SOBRINHO, 2000). Neste sentido, há necessidade de trabalhos de pesquisa direcionados aos caracteres agroindustriais desejáveis, tais como resistência às doenças, capacidade de brotação, elevado ATR (açúcar total recuperável), alta produtividade e aspectos relacionados às condições de clima e solo. Com isso, o gerenciamento da produção deve contemplar o manejo de novas cultivares, baseado na diversidade de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas regionais, principalmente, nas regiões de expansão da cultura (TASSO JUNIOR, 2007).

Segundo Landell e Bressiani (2010), as cultivares comerciais atuais estão alicerçadas em poucos genitores ancestrais, os quais foram extensivamente inter cruzados, produzindo centenas de cultivares, determinando uma base genética estreita para a cultura. Como consequência, os ganhos obtidos no melhoramento têm sido cada vez menores e aqueles decorrentes da interação genótipo x ambiente, têm se tornado mais expressivos do que os ganhos genéticos propriamente ditos.

A variedade RB867515, lançada no ano de 1998, ocupou uma área de cultivo, em 2014 de, aproximadamente, 28% nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás. Analisando o número de novas variedades liberadas nos últimos 10 anos, verifica-se que o produtor de cana-de-açúcar tradicionalmente possui dificuldade de adoção de novas cultivares, tanto pela disponibilidade de material propagativo disponível para o início das propagações, quanto pelo tempo que leva a curva de aprendizado para manejar a

nova cultivar. Por outro lado, verifica-se que a razão desta alta adoção da variedade RB867515, conforme mostrado no trabalho de Silveira (2012), é que a referida cultivar possui boa adaptabilidade geral e alta estabilidade fenotípica.

Atualmente, as cultivares utilizadas comercialmente no Estado de Goiás são provenientes de programas de melhoramento desenvolvidos para outros Estados, em especial, São Paulo e Minas Gerais. Assim, problemas específicos, aos quais a cultura se submete na região dos Cerrados, como, por exemplo, estresse hídrico, baixa fertilidade dos solos e condições que favorecem o florescimento dos canaviais podem não ter sido priorizados nessas seleções (REIS, 2009).

O crescimento das áreas de cana-de-açúcar no cerrado, especialmente em Minas Gerais e Goiás, nos últimos dez anos, foi significativamente superior àquele observado para o estado de São Paulo, no qual a área total cultivada com cana-de-açúcar foi de 3.002.676 ha e passou para 5.768.184ha em 2013. Nos estados de MG e GO, neste mesmo período, a área total cultivada foi de 135.721ha e 142.710ha, respectivamente, chegando a 986.690ha e 968.094ha (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2015). Portanto o estado de SP passou por taxa de crescimento de 92% enquanto MG e GO cresceram 713% e 578%, respectivamente. Assim, fica claro que a resposta à potencialidade de crescimento em novas áreas foi intensa no cerrado, pois o crescimento de áreas em SP atingiu condição de equilíbrio na disponibilidade de terras nas regiões mais aptas ao cultivo. Por outro lado, os programas de melhoramento não estavam estruturados para acompanhar este ritmo de expansão, além do desafio temporal para se desenvolver uma variedade para essa nova condição. Suportando o exposto acima, verifica-se que são recentes os primeiros lançamentos de variedades desenvolvidas e adaptadas à região do cerrado, mais particularmente para Goiás (NOVAS..., 2013).

2.4 Interação Genótipo x Ambiente

A interação GxA é um fenômeno natural que faz parte da evolução das espécies, promovendo o aparecimento de genótipos estáveis, adaptados a um ambiente específico, ou de comportamento amplo, adaptado a várias condições de ambiente (LAVORANTI, 2003).

O desafio do melhoramento é selecionar indivíduos superiores e este papel torna-se mais intenso, quando se trabalha em diferentes ambientes de produção, em função das condições climáticas de cada área experimental.

Segundo Landell et al. (2005), uma estratégia adotada é o desenvolvimento de pequenos programas regionais, reduzindo a diversidade ambiental e suas interações na população introduzida. Essa estratégia não impede a seleção de genótipos de adaptação ampla, com base na média dos diversos locais. Mas a opção por uma seleção específica, para cada local considerado, deverá proporcionar ganhos superiores, como constatado por Bressiani (2001).

Os conceitos de ambientes de produção são insuficientes quando se desconhece a resposta do genótipo em relação à diversidade ambiental. Assim, uma variedade necessita ser analisada sob os critérios: capacidade produtiva, responsividade e estabilidade fenotípica (LANDELL et al., 2005).

De uma forma geral, as cultivares de cana-de-açúcar são divididas em três classes: Genótipos com alta capacidade produtiva em ambientes favoráveis são denominados variedades responsivas; Genótipos com comportamento mediano quando submetidas a ambientes desfavoráveis e que respondem à melhoria de ambiente são variedades responsivas ou exigentes e, por último, genótipos adaptados a ambientes desfavoráveis são variedades rústicas e normalmente apresentam menor potencial produtivo (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

A produtividade agrícola, de maneira geral, está em função do genótipo, do ambiente e da interação genótipo x ambiente. O melhoramento de plantas trata de duas das causas da produtividade, a genética e a interação genótipo x ambiente (BOREM; MIRANDA, 2013).

Na maioria das vezes, a presença da interação faz com que os melhores genótipos num local não o sejam em outros, dificultando a recomendação de novas cultivares para todos os ambientes avaliados. Por outro lado, interações positivas, associadas com características previsíveis do ambiente, proporcionam produtividades mais elevadas (DUARTE; VENKOVSKY, 1999).

As condições edafoclimáticas, associadas a práticas culturais, a ocorrência de patógenos e outras variáveis que afetam o desenvolvimento das plantas, são coletivamente denominadas de ambiente. Em outras palavras, o ambiente é constituído de todos os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas que não são de origem genética. A alteração no desempenho relativo dos genótipos, em virtude de diferenças ambientais, denomina-se interação genótipo x ambiente (BOREM; MIRANDA, 2013; RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

Os fatores decorrentes do ambiente que podem afetar o desenvolvimento fenológico das plantas são inúmeros, os mais comuns causadores da interação G x E, dentro dos previsíveis são: fotoperíodo, tipo e fertilidade do solo, toxicidade por alumínio, época de semeadura, práticas agrícolas. Dos imprevisíveis podemos listar: distribuição pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura atmosférica e do solo, patógenos e pragas (BOREM; MIRANDA, 2013).

Shelbourne e Campbell (1976) ressaltam que existem dois problemas ou tarefas importantes relacionados com a interação genótipos x ambientes; primeiro, prever os fatores ambientais locais que estejam aumentando a interação e quais os que podem ser agrupados em regiões onde a interação seja

mínima. Segundo, selecionar populações e genótipos para esses diferentes estratos, que sejam bem adaptados a todos os locais.

O manejo varietal em cana-de-açúcar é uma estratégia que procura explorar os ganhos gerados da interação x ambiente, ou seja, tem como objetivo alocar diferentes variedades comerciais no ambiente que proporcionem a melhor expressão produtiva.

2.5 Estresses abióticos

Cada fator que afeta negativamente o desempenho das plantas denomina-se estresse. Existem inúmeros fatores ambientais, e ou, de manejo que afetam o desempenho das plantas, e a restrição de um ou mais desses fatores diminui a eficiência biológica, com reflexo na produtividade agrícola. O sucesso obtido no melhoramento genético, especialmente no último século, foi principalmente em virtude da seleção visando à tolerância ao estresse, em vez de maior produtividade potencial das plantas. É esperado que a mesma estratégia seja o foco do melhoramento genético no futuro (BOREM; RAMALHO, 2011).

Diante da crise hídrica que o Brasil passou no final de 2014 e início de 2015, torna-se relevante citar que déficit hídrico, talvez, seja o mais importante fator a ser considerado dentro das condições de estresses abióticos. Boyer (1987) apresentou a relação das principais causas de fracasso agrícola nos Estados Unidos e, dentre os dados apresentados, observou-se que os fatores abióticos foram responsáveis por 89% dos casos e, dentre esses, a seca foi a causa de mais de 40% das perdas (BOREM; RAMALHO, 2011).

O conhecimento científico gerado nas últimas décadas comprova ser possível utilizar água na agricultura com racionalidade e sem desperdício. Soluções tecnológicas têm sido desenvolvidas ou adaptadas para diferentes biomas e muitas dessas tecnologias estão em crescente adoção no campo. Em

paralelo, estão em andamento projetos de pesquisa que buscam processos inovadores, para captar e armazenar água da chuva e utilizar, de forma mais eficiente, os diferentes sistemas de irrigação. Mas esta é apenas uma das ferramentas a minimizar os impactos que a agricultura sofrerá no futuro.

As mudanças climáticas vão interagir com a agricultura em duas frentes principais: a demanda crescente de alimentos e o cenário de aquecimento global e alteração dos padrões de precipitação pluviométrica, afetando o desenvolvimento e a produtividade das lavouras. Chuvas torrenciais, secas e ondas de calor se tornarão mais frequentes e severas, aumentando a volatilidade na disponibilidade de alimentos (BOREM; RAMALHO, 2011).

Segundo Fritsche-Neto, Dovale e Cavatte (2012), os estresses abióticos podem desencadear uma série de respostas nas plantas conforme alterações da expressão gênica e metabolismo celular. Assim, a tolerância está relacionada à capacidade da planta em resistir à condição adversa e a eficiência no uso de recursos é definida como a relação entre a produtividade de grãos por unidade de recurso disponível à planta.

Em ambos os casos, tolerância ou eficiência, a planta utiliza mecanismos fisiológicos e, algumas vezes, anatômicos, para evitar o efeito do estresse ou para recuperar-se rapidamente. Para tanto são reconhecidas três principais estratégias das plantas para enfrentar os estresses. A primeira delas, conhecida como *especialização*, o genótipo é adaptado a um determinado ambiente, a segunda, determinada *generalização*, o genótipo apresenta aptidão moderada para a maioria dos ambientes, já, com a *plasticidade fenotípica*, os sinais ambientais interagem com o genótipo e estimulam a produção de fenótipos alternativos (FRITSCHÉ-NETO; DOVALE; CAVATTE, 2012).

Portanto, em função do cenário atual de mudanças climáticas, o desempenho das culturas está frequentemente sujeito a condições ambientais adversas potencialmente capazes de gerar estresses, afetando negativamente seu

crescimento e produtividade. A compreensão das respostas fisiológicas dos cultivos a tais condições é, portanto, fundamental para minimizar os impactos deletérios desses estresses, em busca de produtividade. Logo, tornou-se imediata e crescente a necessidade de trabalhos científicos, para aumentar o entendimento do comportamento fisiológico das culturas, especialmente as tropicais e não exclusivamente a resposta de um tipo específico de estresse, mas a fatores estressantes múltiplos que interagem, a exemplo do que ocorre com o estresse hídrico e térmico (CAVATTE et al., 2012).

2.6 Adaptabilidade e Estabilidade em Cana-de-Açúcar

Um dos principais problemas na recomendação de genótipos de qualquer programa de melhoramento é a interação genótipos x ambientes. A escolha de genótipos, com alta produtividade, adaptabilidade e estabilidade é uma das alternativas para minimizar os efeitos dessa interação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Segundo Borém e Miranda (2013), a adaptabilidade de uma cultivar refere-se a sua capacidade de aproveitar vantajosamente as variações do ambiente. A estabilidade de comportamento refere-se a sua capacidade de apresentar-se altamente previsível mesmo com as variações ambientais. Estes parâmetros dependem da constituição genética da cultivar em termos de heterogeneidade genética e da heterozigosidade. São as características da cultivar que lhe permitem responder aos fatores limitantes do ambiente e potencializar-se com os fatores favoráveis.

Segundo Leite (2011), diferenças na adaptação de genótipos em populações resultam, evidentemente, de diferenças de constituição gênica para os caracteres importantes relacionados com essa adaptação. A reação diferencial às mudanças ambientais, denominada adaptabilidade, pode ocorrer desde os

mecanismos de regulação gênica até caracteres morfológicos finais (CHAVES, 2001).

Junto à expansão da cultura da cana-de-açúcar, cresce a exigência por cultivares adaptadas a estes novos ambientes, que agreguem tanto em produtividade quanto em concentração de açúcar, para cultivo em condições adversas. Entretanto, em sua grande maioria, os genótipos apresentam comportamentos diferenciados quanto aos distintos ambientes de cultivo. Por esta razão, é fundamental a identificação de genótipos de comportamento previsível e adaptados às variações ambientais para condições amplas ou específicas de cultivo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; SILVEIRA, 2012).

Cultivares de adaptabilidade ampla ou de maior estabilidade deverão perder espaço para cultivares regionalizadas, à medida que um maior volume de cultivares forem lançadas e o grau de tecnificação dos produtores aumentar, assim como ocorreu com as culturas de soja e milho no Brasil, pois torna-se importante trabalhar de forma integrada outros processos para melhorar a eficiência e produtividade de uma cultivar.

Na estratégia de seleção e recomendação regional, é importante integrar as áreas de genética, estatística, climatologia e pedologia de modo a caracterizar mais eficientemente a variabilidade ambiental. Daí a importância de se estabelecer e estudar redes experimentais a partir de regiões pré-caracterizadas. Este tipo de trabalho demanda um alto nível de recursos e estrutura experimental (LEITE, 2011).

Há diversos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade para avaliação de um grupo de genótipos testados numa série de ambientes contrastantes e que apresentem interação GxE. A escolha do método para análise depende dos dados experimentais, do número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e tipo de informação desejada. As definições citadas são

calculadas a partir de variáveis colhidas a campo e inseridas em modelos matemáticos voltados para experimentação agrícola (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

2.7 Método GGEbiplot

Vários métodos estatísticos foram desenvolvidos para análise de GEI (*Genotype x Environment Interaction*). Um destes métodos é a análise via GGEbiplot (*genotype main effects + genotype by environment interaction*), desenvolvido por Yan et al. (2000) para analisar visualmente dados gerados em multiambientes (MET).

Segundo Sandhu et al. (2014), um genótipo ou cultivar é considerado estável quando apresenta adaptabilidade para uma determinada característica de importância econômica em diferentes ambientes. O ambiente, geralmente, representa o maior componente na análise de variância, mas não é relevante para a seleção de cultivares. Porém o genótipo e a interação genótipo x ambiente são altamente relevantes na avaliação de cultivares e devem ser considerados simultaneamente na tomada de decisão do processo de seleção (KANG; AGGARWAL; CHIRWA, 2005; YAN et al., 2000).

Segundo Ferraudo (2013) e Yan et al. (2007) compararam GGEbiplot com o modelo AMMI e concluíram que GGEbiplot é superior ao AMMI na identificação de megaambientes e avaliação de genótipos porque explica melhor o efeito principal de genótipo e o efeito da interação genótipo x ambiente.

Segundo Mattos (2012), os gráficos do GGEbiplot visualizam três aspectos importantes: primeiro, a relação entre genótipo e ambiente, permitindo o agrupamento de genótipos e ambientes com comportamentos semelhantes, mostrando o genótipo com maior potencial e sua identificação em cada subgrupo de ambientes (megaambientes); segundo, a interrelação dos ambientes,

facilitando a identificação do melhor ambiente na avaliação das cultivares e indicando qual ambiente pode ser menos favorável; e terceiro, a interrelação entre genótipos, facilitando a comparação dos genótipos e do ordenamento ou *ranking* para os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (YAN; RAJCAN, 2002).

O GGEbiplot é uma técnica que tem sido utilizada na avaliação de interação GxA em diferentes culturas e espécies (BLANCHE et al., 2006; CASANOVES; BALDESSARI; BALZARINI, 2005; FAN et al., 2007; KANG; AGGARWAL; CHIRWA, 2005; MA et al., 2004). Glaz e Kang (2008) utilizaram o método para analisar a melhoria de eficiência de cana-de-açúcar na identificação de locais com solos orgânicos na Flórida, ao identificar pontos que podem ser substituídos sem comprometer a seleção de cultivares superiores. Ramburan, Zhou e Labuschagne (2011) avaliaram a estabilidade genotípica e a magnitude da interação GxA, via método GGEbiplot, em áreas de sequeiro da indústria de cana-de-açúcar no Sul da África para melhorar a eficiência de seleção e avaliação. Sandhu et al. (2014), também, utilizaram a técnica GGEbiplot em cana-de-açúcar, para avaliar a estabilidade no avanço de genótipos de cana-de-açúcar testados em uma gama de zonas e locais na Índia, com discriminação de locais que favorecem as características de interesse econômico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização dos experimentos

Para este trabalho, foram utilizados dados de experimentos instalados em seis locais, distribuídos nos Estados de Goiás e Minas Gerais. Na Tabela 1, é apresentada uma descrição sumarizada dos locais no que se refere à vegetação em cultivo anteriormente à instalação do ensaio, suas coordenadas geográficas e a altitude.

Tabela 1 Identificação, localização e dados geográficos dos experimentos de competição

Código	Vegetação anterior	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
E1	Soja	1788083	5171388	789
E2	Algodão	1839277	5266583	810
E3	Pastagem	1844777	5045194	530
E4	Cana-de-açúcar	1930888	4752416	910
E5	Pastagem	1991500	4838777	606
E6	Pastagem	1896500	5192583	538

Na Figura 1, é possível verificar a distribuição espacial dos municípios onde foram conduzidos os experimentos. O clima na região é caracterizado por inverno seco e verão chuvoso, com período de déficit hídrico bem definido entre maio e outubro, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 1 Distribuição dos municípios onde foram conduzidos os experimentos nos Estados de Goiás e Minas Gerais

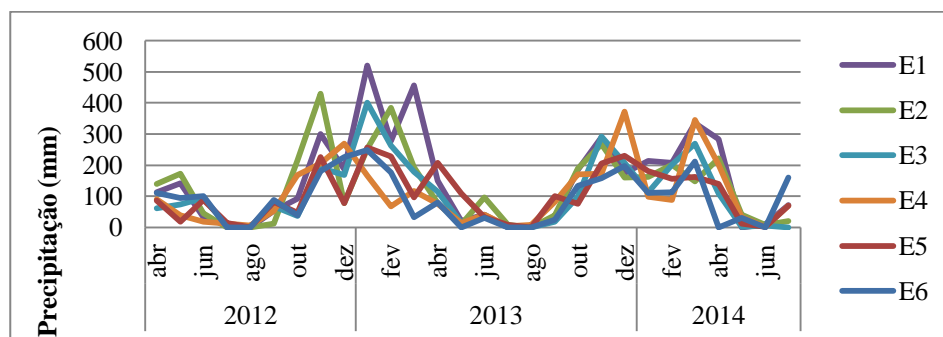


Figura 2 Dados de precipitação mensal (mm) observados durante o ciclo de condução dos experimentos

Fonte: Estação meteorológica de maior proximidade a área do experimento

No que se refere à classificação de solos E1 e E2, estão no grupo dos latossolo vermelho escuro álico e distrófico com textura argilosa ou média. E3 e E4 se enquadram na classe latossolo vermelho amarelo de textura média. Os ambientes E5 e E6 estão, isoladamente, no grupo de solos de menor fertilidade na classe das areias quartzosas e podzólico com textura arenosa e média, respectivamente.

Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, os ambientes E6, E5, E2, E1 e E3 apresentam-se dentro do grupo Aw (clima tropical com estação seca de inverno) e somente E4 encontra-se no grupo Cfa (clima temperado com verão quente).

A Figura 3 estratifica as informações apresentadas na Figura 2, ou seja, apresenta a precipitação acumulada em dois períodos: desde o plantio até o 1º corte; e o período do 1º ao 2º corte.

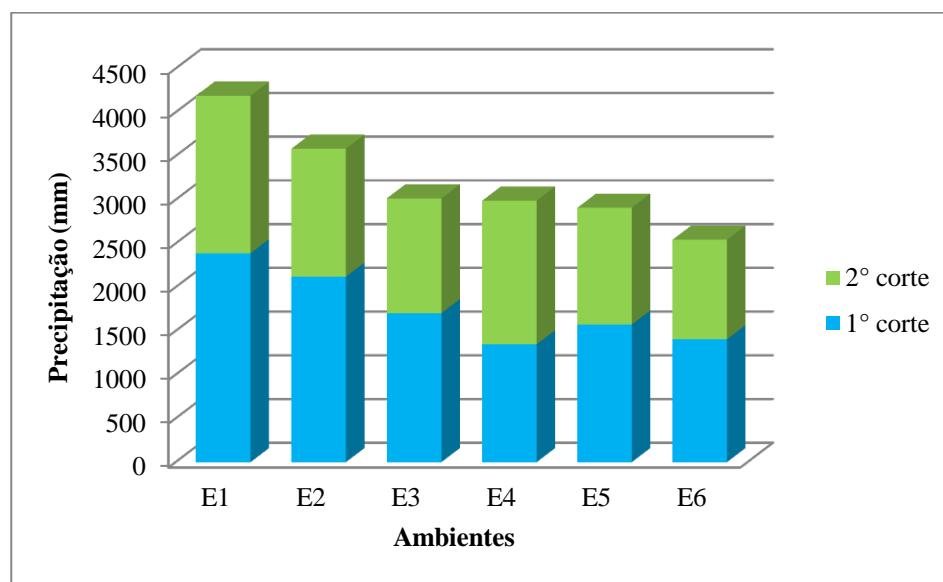


Figura 3 Precipitação acumulada referente ao período de condução dos experimentos em seus respectivos ambientes e cortes

Na Figura 4 estão apresentados os dados históricos de temperatura média das máximas e mínimas. Estes dados foram obtidos nas estações meteorológicas ligadas aos municípios de condução dos experimentos.

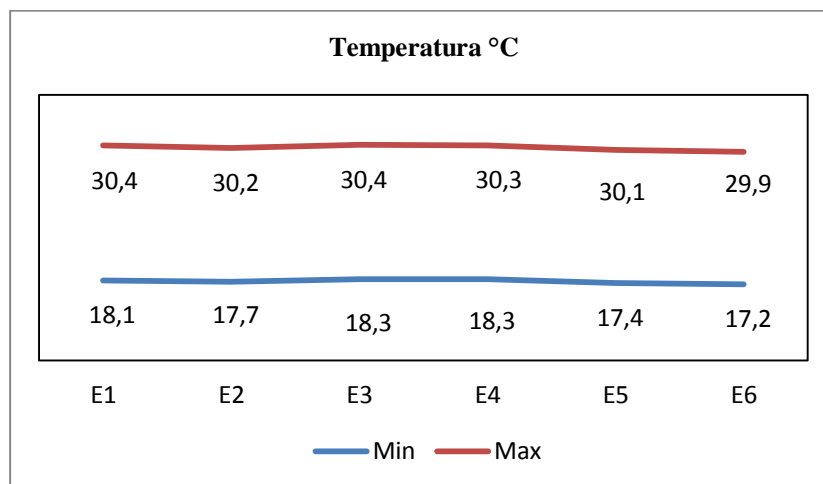


Figura 4 Dados históricos de temperatura (°C) média anual mínima e máxima observados nos municípios de condução dos experimentos

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2015)

3.2 Genótipos avaliados, plano experimental e condução

Foram avaliados vinte e seis clones potenciais e quatro testemunhas. As testemunhas se constituíram de cultivares de reconhecido valor regional, sendo caracterizadas na Tabela 2, de acordo com a descrição da instituição detentora. O conjunto de ensaios em questão caracteriza a etapa final de experimentação para melhoramento em cana-de-açúcar. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental, em blocos completos casualizados, com três repetições, em parcelas de quatro linhas de 10 metros de comprimento e com 1,5 m de espaçamento entre linhas, totalizando 60 m² por parcela.

Tabela 2 Caracterização das testemunhas utilizadas nos experimentos quanto à produtividade agrícola (PROD), época de colheita (EC), brotação da soca (BS), florescimento (FLOR), chochamento (CHO), nível de exigência de ambiente (EXA), teor de sacarose (POL)

Variedade	PROD	EC	BS	FLOR	CHO	EXA	POL
RB855453	alta	mai-jul	ótima	frequente	médio	alta	alto
RB855156	média	abr-mai	ótima	frequente	pouco	baixa	alto
RB966928	alta	abr-mai	boa	raro	ausente	média	médio
RB965902	alta	mai-jul	muito boa	ausente	pouco	média	alto

Fonte: Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro - RIDESA (2010).

De forma geral, o manejo agrônomo das áreas experimentais seguiu o processo adotado pela maioria das unidades produtoras de cana-de-açúcar na região, ou seja, correção do solo de acordo com os resultados de análises químicas, sendo o calcário usado com o objetivo de elevar a saturação de base a 50% na camada superficial no solo. O preparo do solo consistiu numa primeira gradagem pesada para incorporação de corretivos, na sequência gradagem intermediária para quebra de torrões e, quando necessário, uma terceira gradagem leve para nivelamento antes do plantio.

A operação de sulcação foi realizada com implemento sulcador de duas linhas com espaçamento de 1,50m entre linhas, utilizando, na mesma operação, a distribuição do adubo de plantio no fundo do sulco a uma profundidade de, aproximadamente, 0,35m. O plantio das parcelas foi realizado manualmente, sendo os colmos distribuídos seguindo a orientação “pé com ponta”. Este sistema é realizado, para garantir a uniformidade do estande inicial, pois as gemas de um colmo apresentam diferentes idades fisiológicas (ANJOS; SILVA; CAMPANA, 2010). Durante o plantio foram utilizadas em média 16 gemas por

metro linear, na sequência foi realizada a picação dos toletes, em que cada segmento de colmo ficou com média de 3 gemas.

O plantio foi realizado nos meses de março, abril e maio de 2012, que coincide com o final do período chuvoso, estando dentro do recomendado para a região do cerrado, em se tratando de condições sem uso de irrigação. Os experimentos não receberam nenhuma lâmina de irrigação após o plantio ou ao longo do ciclo de desenvolvimento. A cana plantada nesta época encontra um favorecimento inicial para o crescimento e desenvolvimento vegetativo e, nos meses seguintes, entre maio e setembro passa por uma fase em que o metabolismo quase paralisa pelas condições de baixa temperatura do ar e déficit hídrico do solo (ANJOS; SILVA; CAMPANA, 2010).

3.3 Obtenção das variáveis quantitativas

- a) Pesagem das parcelas via biometria ou colheita total;
- b) Brotação de soqueira: com objetivo de avaliar o comportamento dos clones quanto ao potencial de rebrota (perfilhamento), é realizada entre 60 e 90 dias após a colheita. São atribuídas notas visuais comparadas ao padrão, são classificados dentro da capacidade de perfilhamento em relação ao padrão pelos escores: acima, equivalente ou abaixo.

A colheita na fase de cana planta foi realizada durante os meses de maio, junho e julho de 2013, a primeira soca foi colhida no mesmo período em 2014, conforme Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 Data de colheitas do primeiro (cana-planta) e segundo (cana-soca) corte

Ambiente	Colheita 1ºcorte	Operação pesagem	Colheita 2ºcorte	Operação pesagem
APGO	10.06.2013	Biometria	04.06.2014	Biometria
CHGO	06.06.2013	Biometria	04.07.2014	Colhedora
JAGO	27.05.2013	Colhedora	01.07.2014	Colhedora
QUGO	08.07.2013	Colhedora	02.07.2014	Colhedora
CAMG	16.06.2013	Biometria	03.07.2014	Colhedora
SJMG	24.06.2013	Colhedora	28.05.2014	Colhedora

3.4 Caracteres avaliados

a) Produtividade em toneladas de colmos por hectare (TCH): obtida a partir da massa da parcela em quilograma (kg m^{-2}). Nos ensaios colhidos mecanicamente foi realizada pesagem total da parcela com uso dos seguintes equipamentos: colhedora, caminhão (Scania 250) com transbordo (Antoniosi ATA 8000) equipado com célula de carga (Renalt Paolo) e interface de dados Verion, além da unidade para transporte de cana picada (container) para descarte das parcelas que passaram pelo registro de pesagem. Nos experimentos estimados via biometria foi realizada pesagem de 40 colmos (10 colmos/sulco), com uso de balança digital tipo gancho (KERN série HCB), além da contagem do número total de colmos em cada um dos quatros sulcos que compõem os 10 m da parcela. Em posse da quantidade de colmos contidas na parcela experimental e o peso médio dos colmos, estimou-se a produtividade de colmos por hectare.

b) Pol % cana (PC): para determinar a porcentagem aparente de sacarose, após a coleta de colmos e envio ao laboratório cada amostra passa pelo fluxo de análise para aferição dos parâmetros (CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECANA, 2006).

c) Para estimar a produtividade em toneladas de pol por hectare foi aplicada a seguinte fórmula:

$$\text{TPH} = (\text{TCH} \times \text{PC})/100, \text{ em que:}$$

TPH = tonelada de pol por hectare

TCH = tonelada de cana por hectare

PC = porcentagem de pol cana

3.5 Análise dos dados

Foram realizadas as análises de variância individuais para cada ambiente de produção, bem como a análise conjunta para os dados de cana-planta e cana-soca, conforme Steel, Torrie e Dicky (1997). Assumiram-se os efeitos de clones e ambientes como fixos e o efeito de blocos como aleatório. O teste F foi aplicado a 5% de significância. Foram estimados a acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007) e o coeficiente de variação experimental (PIMENTEL-GOMES, 2015) para cada experimento.

Com a indicação de existência da interação GxE (teste F significativo), procedeu-se à análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia GGEbiplot (YAN et al., 2000). Para estudo do GGEbiplot, foi realizada a análise pelo método da decomposição do valor singular (SDV) da matriz de dupla entrada $G + GE$ pelo seguinte modelo (YAN et al., 2001):

$$G + GE = [(g_i + ge_{ij})] = \sum_{s=1}^n \lambda_s \gamma_{is} \delta_{js} + \rho_{ij} \quad (4)$$

Em que:

$G + GE$: matriz dos efeitos dos clones somados aos efeitos das interações clones por ambientes;

λ_s : valor singular do s-ésimo componente principal;

γ_{is} e δ_{js} : autovetores do s -ésimo componente principal associado ao efeito do clone i e ambiente j , respectivamente;

n : número dos componentes principais retidos do modelo;

ρ_{ij} : ruído.

A partir dos escores dos clones e dos ambientes, foram gerados gráficos Biplots para melhor entendimento da interrelação entre genótipos e/ou ambientes, conforme Yan e Tinker (2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de variância

A precisão experimental foi avaliada, por meio das estimativas de acurácia seletiva para os caracteres de TPH e TCH, com base nas análises individuais nos diferentes ambientes e cortes (primeiro e segundo). Este parâmetro refere-se à correlação entre o valor genotípico do genótipo e a estimativa realizada segundo as informações fenotípicas observadas. Tem por objetivo refletir a confiabilidade das estimativas. Duarte e Resende (2007) classificam os experimentos em função da magnitude da acurácia seletiva em quatro classes de precisão, para valores obtidos acima de 0,90 é considerada como muito alta, de 0,70 a 0,85 alta, 0,50 a 0,65 moderada e de 0,10 a 0,40 baixa.

Para TPH, as magnitudes da acurácia oscilaram entre os ambientes. No 1º corte (cana-planta), 50% dos experimentos foram classificados como de alta precisão, 33,3% dentro da classe moderada e 16,6% como baixa (Tabela 4). No segundo corte (cana-soca), 66% dos experimentos foram classificados com alta precisão, 16,6% com moderada e apenas 16,6% foram de baixa precisão (Tabela 5).

Para TCH, na primeira colheita, 83,3% dos experimentos foram classificados como de alta precisão. No segundo corte, um experimento apresentou precisão muito alta e 50% dos experimentos apresentaram precisão alta (Tabela 6 e 7). Tanto no primeiro como no segundo corte, os locais E4 e E3, respectivamente, foram classificados como de baixa precisão.

Pode ser observado nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 que foram detectadas diferenças significativas entre os locais para ambos os caracteres (TPH e TCH), exceto para o ambiente E4 para TPH e TCH no 1º corte. Esta significância pode

estar relacionada, especialmente, às diferentes condições edafoclimáticas que influenciam diretamente a expressão dos caracteres ligados à produtividade.

Portanto, foi observada diferença significativa entre os genótipos avaliados, isto indica a existência de variabilidade genética e traz a oportunidade de identificar genótipos de alta estabilidade e adaptabilidade ampla.

Tabela 4 Resumo da análise de variância para Toneladas de Pol por hectare (TPH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar em 6 ambientes diferentes em primeiro corte (cana-planta)

Fonte de Variação		Ambientes						
		GL	E1	E2	E3	E4	E5	E6
QM	gen	29	94,154	38,459	104,839	5,854	163,058	43,212
	resid	58	49,058	12,736	59,809	58,228	59,994	27,239
F	gen		1,9192*	3,0198*	1,7529*	1,0054ns	2,7179*	1,5864*
Acurácia seletiva			0,69	0,81	0,65	0,10	0,79	0,60
Média			15,9	25,37	16,07	12,45	15,70	14,85
CV (%)			13,93	14,05	15,22	19,38	15,59	35,11

Códigos de significância: ns= não significativo; *= significativo a 5% probabilidade.

Tabela 5 Resumo da análise de variância dos caracteres tecnológicos (TPH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos ambientes E1, E2, E3, E4, E5 e E6 em segundo corte (cana-soca)

Fonte de Variação		Ambientes						
		GL	E1	E2	E3	E4	E5	E6
QM	gen	29	239,303	128,857	100,986	78,191	57,725	3,426
	resid	58	74,027	4,614	78,262	16,137	15,601	1,808
F	gen		3,2327*	2,7927*	1,2904ns	4,8454*	3,7001*	1,8952*
Acurácia seletiva			0,83	0,80	0,47	0,88	0,85	0,68
Média			21,54	16,17	16,26	9,26	8,72	8,82
CV (%)			12,68	13,49	17,2	13,71	14,31	15,24

Códigos de significância: ns= não significativo; *= significativo a 5% probabilidade.

Tabela 6 Resumo da análise de variância dos caracteres agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos ambientes E1, E2, E3, E4, E5 e E6 em primeiro corte (cana-planta)

Fonte de Variação	Ambientes							
	GL	E1	E2	E3	E4	E5	E6	
QM	gen	29	454,65	1432,87	450,02	279,43	916,45	1194,5
	resid	58	213,76	381,36	186,97	436,37	224,97	454,7
F	gen		2,1269*	3,7573*	2,4069*	0,6403ns	4,0738*	2,6273*
Acurácia seletiva			0,72	0,85	0,76	0	0,86	0,78
Média			122,83	156,57	128,46	107,08	106,32	109,22
CV (%)			11,9	12,47	10,64	19,51	14,11	19,52

Códigos de significância: ns= não significativo; *= significativo a 5% probabilidade.

Tabela 7 Resumo da análise de variância dos caracteres agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos ambientes E1, E2, E3, E4, E5 e E6 em segundo corte (cana-soca)

Fonte de Variação	Ambientes							
	GL	E1	E2	E3	E4	E5	E6	
QM	gen	29	1079,14	661,81	382,15	488,45	151,05	187,02
	resid	58	261,3	211,44	283,58	79,8	48,47	90,78
F	gen		41,299	3,13*	1,3476ns	61,214	3,1164*	2,0601*
Acurácia seletiva			0,87	0,82	0,5	0,91	0,82	0,71
Média			151,95	112,84	120,25	111,81	60,49	68,58
CV (%)			10,63	12,89	14	7,99	11,51	13,88

Códigos de significância: ns= não significativo; *= significativo a 5% probabilidade.

Para seleção de genótipos superiores em cana-de-açúcar, é necessário que os mesmos associem alta produtividade de cana (TCH) e alta produtividade de açúcar (TPH), para obtenção de rendimento industrial tanto na produção de açúcar como de etanol. Observando a Tabela 8, a média de TPH, para o primeiro corte, foi de 14,2 e, para o segundo corte, de 11,55. Esses valores foram próximos da média de 12,88 encontrada por Mattos, 2012 para TPH, ao estudar

adaptabilidade e estabilidade em cinco ambientes no Estado do Paraná, mostrando que a região de expansão tem potencial de produtividade de açúcar semelhante ao de algumas regiões tradicionais de cultivo cana-de-açúcar do país.

Por outro lado, a Tabela 9 apresenta valores de 106,66 e 110,71 para as médias de TCH para o primeiro e segundo cortes, respectivamente. Quando comparado ao resultado apresentado por Fernandes Júnior (2013), avaliando adaptabilidade e estabilidade em 10 ambientes do Estado de São Paulo, em que alcançaram TCH médio de 120,88, obteve-se produtividade de cana por hectare 10,88% inferior ao estado de São Paulo. Este resultado pode indicar um baixo potencial de produtividade de cana nas regiões de expansão, mas também um baixo potencial de adaptabilidade ou estabilidade dos genótipos inicialmente desenvolvidos para as regiões tradicionais e expostos aos ambiente do cerrado apenas ao final do processo de melhoramento.

Tabela 8 Resumo da análise de variância dos caracteres tecnológicos (TPH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos seis ambientes em primeiro e segundo corte (cana planta e soca)

Fonte de Variação		GL	TPH	
			1º corte	2º corte
QM	local	5	1780,38	2533,88
	genótipo	37	33,52	15,27
	loc:gen	137	17,14	9,41
	resíduo	348	10,45	4,14
F	loc		170,4162*	612,4306*
	gen		3,5357*	4,7004*
	loc:gen		1,6406*	2,2739*
Acurácia			0,82	0,85
Média			14,2	11,55
CV (%)			22,76	17,61

Tabela 9 Resumo da análise de variância dos caracteres agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos seis ambientes em primeiro e segundo corte (cana planta e soca)

Fonte de Variação		GL	TPH	
			1º corte	2º corte
QM	local	5	33635	105303
	genótipo	37	1540	783
	loc:gen	137	585	413
	resíduo	348	316	163
F	loc		106,3243*	647,7756*
	gen		5,198*	6,181*
	loc:gen		1,849*	2,5403*
Acurácia			0,88	0,88
Média			106,66	110,71
CV (%)			16,66	11,53

Tabela 10 Resumo da análise de variância conjunta dos caracteres tecnológicos (TPH) e agronômicos (TCH) relativo à avaliação de genótipos de cana-de-açúcar nos seis ambientes em primeiro e segundo corte (cana planta e soca)

Fonte de Variação		GL	TPH	TCH
genótipo	37	348	348	
colheita	1	12	12	
loc:genótipo	137	348	348	
loc:colheita	5	13,09	12,9	
gen:colheita	37	348	348	
loc:gen:colheita	137	348	348	

“Tabela 10, conclusão”

Fonte de Variação		TPH	TCH
	GL		
	loc	303,0038*	242,0939*
	genótipo	3,3807*	5,52*
	colheita	335,6452*	292,2828*
F	loc:genótipo	2,2356*	2,2805*
	loc:colheita	138,4646*	142,1249*
	gen:colheita	3,3046*	3,767*
	loc:gen:colheita	1,3438*	1,7656*
	Acurácia	0,84	0,9
	Média	15,45	115,52
	CV (%)	16,86	9,57

As Tabelas 11 e 12 apresentam os valores das médias ajustadas, para os caracteres de TPH e TCH, os experimentos não possuem tratamentos em condições de balanceamento total. As médias representadas por NA apresentam o desbalanceamento, dos clones nos específicos ambientes. Porém, para corrigir o efeito do desbalanceamento, foi utilizada, no programa GGEbiplot, a ferramenta de estimativa de valores “SVD algorithm” fazendo com que a análise não fosse penalizada pelas médias ausentes.

Tabela 11 Médias ajustadas para TPH para primeiro e segundo corte considerando os ambientes avaliados

Genótipos	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Média
1	17,97	20,49	17,16	9,48	11,17	NA	16,70a
2	19,76	19,78	16,72	10,7	12,16	10,97	15,96a
3	17,54	24,47	16,98	10,7	10,4	11,65	13,91a
4	16,51	20,47	15,5	9,47	11,01	11,69	16,01a
5	21,03	18,91	15,95	9,86	11,17	NA	13,56a
6	21,14	20,08	16,4	8,92	10,94	13,55	15,81a
7	22,33	17,94	16,53	10,66	12,46	10	17,11a
8	17,92	NA	15,73	9,24	14,07	14,65	13,74a
9	14,65	19,97	15,82	10,19	12,06	NA	15,56a
10	18,26	18,42	15,27	11,42	12,55	10,72	15,41a
11	17,3	21,6	16,94	9,89	12,14	12,07	16,43a
12	18,54	20,16	14,69	12,55	13,61	13,14	19,35a
13	17,83	22,61	16,53	11,28	12,79	13,39	16,95a
14	21,47	24,17	17,66	12,84	13,9	11,26	15,25a
15	19,44	19,82	17,87	9,48	11,82	11,14	14,75a
16	16,42	18,89	12,54	10,49	11,37	11,29	13,94a
17	19,51	24,09	16,15	10,6	11,7	11,15	15,79a
18	18,22	16,4	13,98	10,37	12,26	10,28	14,74a
19	18,4	NA	14,73	10,98	9,96	12,46	14,70a
20	17,66	19,7	17,54	9,7	11,9	11,59	13,68a
21	23,91	25,11	NA	11,74	12,3	8,59	15,98a
22	NA	24,54	17,33	10,93	15,48	11,62	10,93b
23	19,9	18,75	16,38	13,11	10,99	10,4	14,87a
24	21,68	22,24	15,88	NA	12,48	10,08	17,08a
25	17,09	16,56	17,66	13,44	10,88	17,11	17,10a
26 (T)	17,2	22,12	12,9	13,14	15,26	9,73	15,20a
27 (T)	17,04	19,96	16,74	9,69	13,17	9,84	14,96a
28 (T)	17,95	21,85	16,94	11,67	12,14	14,08	14,31a
29 (T)	16,45	21,46	17,64	11,07	10,39	8,96	17,64a
30	17,04	22,05	16,37	10,4	13,815	13,4	15,93a
Média	18,43	19,61	16,21	10,86	12,28	11,68	

Letras atribuídas mediante realização do teste Scott-Knott sob alfa = 0.05 (médias ajustadas). (T) genótipos testemunhas

Tabela 12 Médias ajustadas para TCH para primeiro e segundo corte considerando os ambientes avaliados

Genótipos	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Média
1	136,2	133,3	126,8	97,3	70,7	NA	112,8a
2	135,4	118,4	126,6	108,4	80,2	88,5	113,8a
3	133,6	157,9	128,8	107,8	76,3	91	115,9a
4	130,4	130,9	122,2	92,9	74	88,6	110,1b
5	138,3	126,9	132,4	101,2	73,2	NA	114,4a
6	163	131,2	130	103	73	107,5	118,0a
7	162,9	114,2	129,8	107,4	86,3	71,4	120,1a
8	140,1	NA	113,3	97,9	106,2	90,7	109,6b
9	109,9	141,6	117,1	112,3	78,5	NA	111,9b
10	122,3	114,3	118,7	106,8	81,6	82,9	104,4b
11	144,3	152,2	131,7	122,3	100,6	98,1	130,2a
12	142,5	129	122,7	116,3	88,2	102	116,8a
13	149,9	154,7	131,5	122,7	96,5	99	131,1a
14	139	146,4	128,2	117,3	88,3	84,4	117,3a
15	142	127,8	133,2	101,6	85,7	91	118,0a
16	119,6	122,4	101,5	101,1	76	82,6	100,5b
17	144,4	154,5	136	109,4	89,2	86,3	126,7a
18	125,9	104,7	106,7	105,3	79,3	79,4	100,2b
19	142	NA	132,1	117,5	76,2	87,2	116,9a
20	141	133,7	133,4	106,7	89	84,1	120,8a
21	175,1	165,1	NA	117,9	88,7	68,4	123,0a
22	NA	151,3	130,7	113,9	98,7	109,2	120,8a
23	132,4	119,5	117,9	111,4	69,9	77,1	104,7b
24	158,9	144,8	121	NA	83,6	80,7	127,1a
25	125,3	100,6	126,6	125,8	70,5	92,2	109,7b
26 (T)	122,7	143,7	98,4	116,5	95,7	81	109,7b
27 (T)	127,5	126,2	130,7	110,9	84,1	81,2	115,9a
28 (T)	127,1	142,5	131,4	103,3	77,7	102,3	114,1a
29 (T)	116,7	144,3	127,4	108,3	70,6	67,6	113,5a
30	123,3	137,1	130,3	113,1	92,4	101,9	116,3a
Média	137	134,66	124,76	109,57	83,41	88,03	

Letras atribuídas mediante realização do teste Scott-Knott sob alfa = 0,05 (médias ajustadas). (T) genótipos testemunhas

4.2 Análises via GGEbiplot

Portanto, na Figura 5, é apresentado o gráfico obtido, de acordo com a metodologia proposta, onde se pode observar a performance média versus a estabilidade dos genótipos, construído a partir das médias ajustadas dos dois cortes para ambos os caracteres estudados.

Nesta função específica, a estabilidade é definida com base na interação genótipo x ambiente. A performance média em toneladas de cana por hectare dos genótipos é representada pelo pequeno círculo vermelho e este ponto pode ser considerado como um ambiente ideal ou virtual, estimado conforme as médias dos componentes principais e média dos ambientes. O genótipo 21 apresentou o maior valor genotípico observado, mostrando ser também o genótipo de maior estabilidade. Com resultados semelhantes ao genótipo 21, estão os genótipos 8, 26 (RB855156), 2 e 24 que obtiveram desempenho significativo, tanto para a média de TPH quanto para a estabilidade.

Ainda, na Figura 5, observando a projeção da parte superior à reta azul, encontra-se o agrupamento dos genótipos abaixo da média estimada e de alta instabilidade, como exemplo 16, 4, 19, 13 e 23. Estes genótipos possuem uma tendência de alto grau de flutuação em seu desempenho médio ao longo dos ambientes. Os genótipos 14 e 28 sofreram maior influência da interação genótipo x ambiente e foram os que apresentaram a menor estabilidade e performance média abaixo da média ideal estimada.

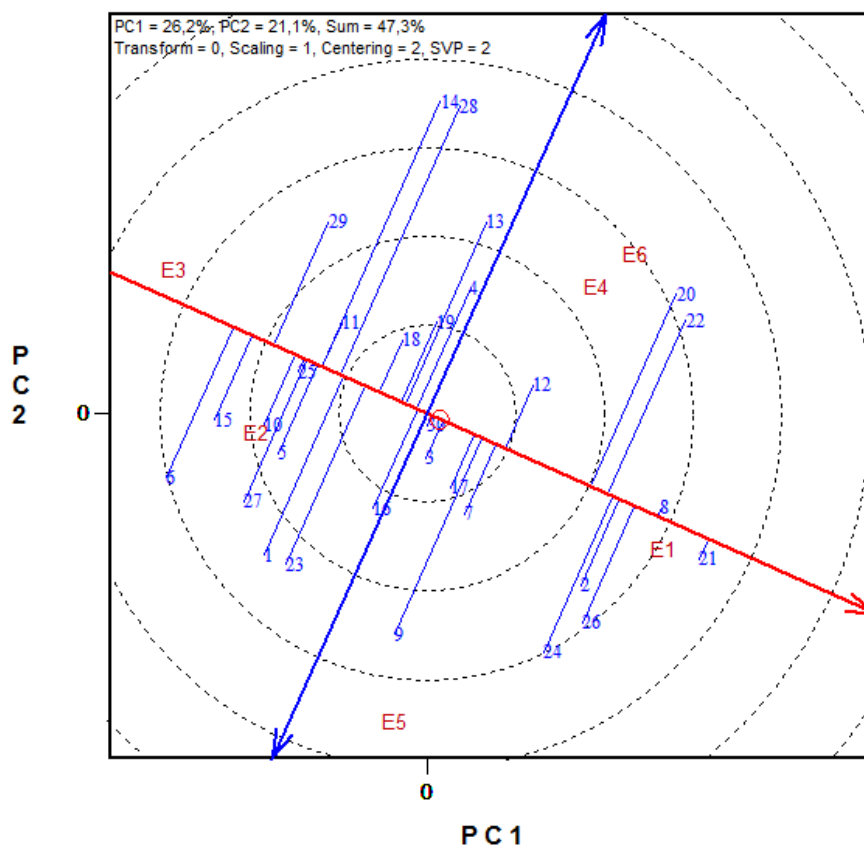


Figura 5 Performance média vs Estabilidade dos genótipos (TPH)

Analisando os dados para o caráter TCH (Figura 6), verifica-se que apenas o genótipo 21 está acima da média de performance, porém demonstrou ter baixa estabilidade comparado ao resultado obtido para TPH. Os genótipos 13, 11, 22, 17 e 14 apresentaram maior estabilidade, apesar de se apresentarem abaixo da média estimada para TCH. Apesar do genótipo 21 apresentar menor estabilidade, ele manteve-se dentro da melhor performance produtiva nos ambientes analisados, principalmente em E1, E3 e E2 (conforme Tabelas médias ajustadas).

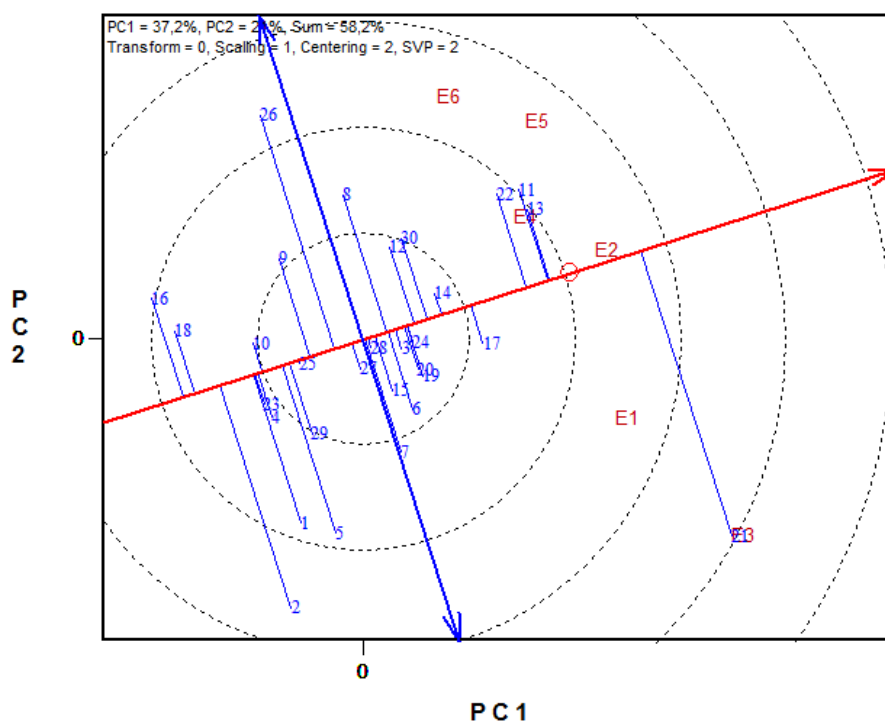


Figura 6 Performance média vs Estabilidade dos genótipos (TCH)

Segundo Leite (2011), mais importante que realizar a estratificação para cada ano, é encontrar regiões consistentes, ao longo das safras, para possibilitar a escolha dos locais mais representativos que venham manter os ganhos regionais nas safras seguintes. Para tanto, a Figura 7 apresenta o biplot que estima as interrelações entre os ambientes para TPH. O círculo vermelho indica a posição do ambiente ideal, e o ângulo discrimina a representatividade. Com isso, os dados analisados mostraram que os ambientes E1 e E3 apresentaram-se como os mais representativos.

O alto grau de correlação entre os ambientes E6 e E4 indica que ocorre uma significativa similaridade entre os mesmos, ou seja, pode-se afirmar que, na seleção de genótipos para TPH, espera-se que esses ambientes apresentem

resultados semelhantes. O ambiente de maior estabilidade produtiva foi E2, ou seja, foi aquele que apresentou menor diferença para o rendimento médio dos génotipos. Já, o ambiente E5 apresentou-se como mais discriminativo e que mais contribuiu, significativamente, para interação génotipo x ambiente.

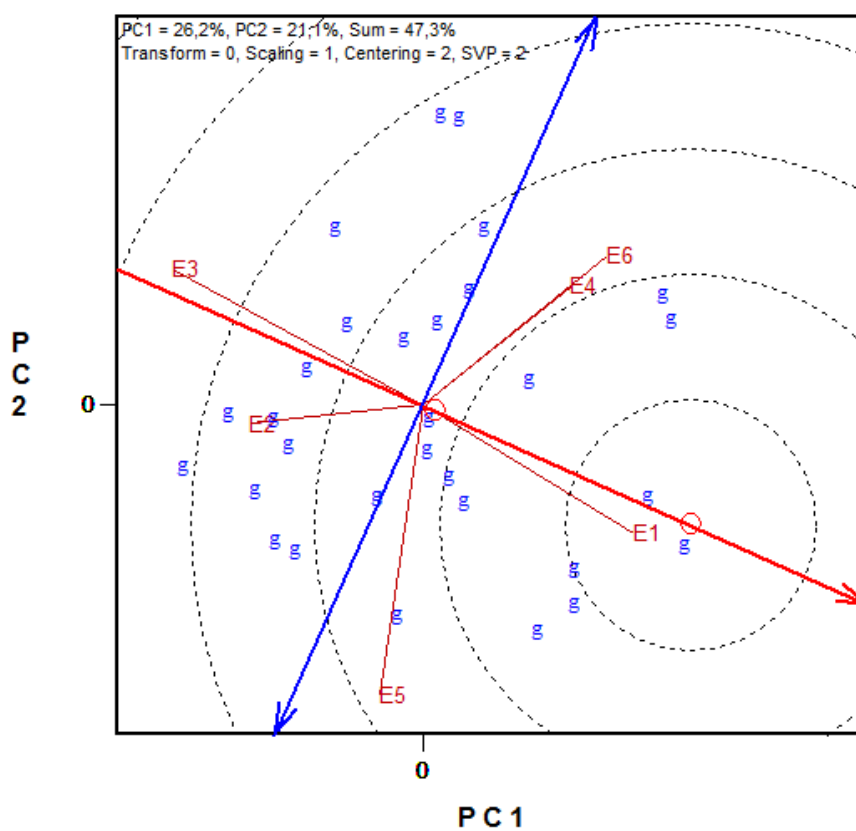


Figura 7 Discriminação e representatividade dos ambientes (TPH)

Ao avaliar o carácter TCH (Figura 8), verifica-se que E1 e E2 apresentaram maior similaridade ou representatividade da média, assim como E3 mostrou-se como o ambiente de maior variação para a média dos génotipos e foi

definido como o mais discriminativo. Já, E6 e E5, bem como E5 e E4 apresentaram alta correlação e maior similaridade.

Uma observação de elevada importância foi o diferente comportamento apresentado pelos ambientes para os dois caracteres. Para TCH, foi encontrada uma menor discriminação dos ambientes avaliados. Assim, verifica-se que a similaridade nos ambientes determina menor influência na superioridade dos genótipos, ou seja, a expressão da variabilidade fenotípica é menos significativa para TCH nos ambientes estudados.

A estabilidade ambiental, segundo Guerra (2010), confere a confiabilidade no *ranking* dos genótipos no ambiente em estudo, relacionado à média dos ambientes testados.

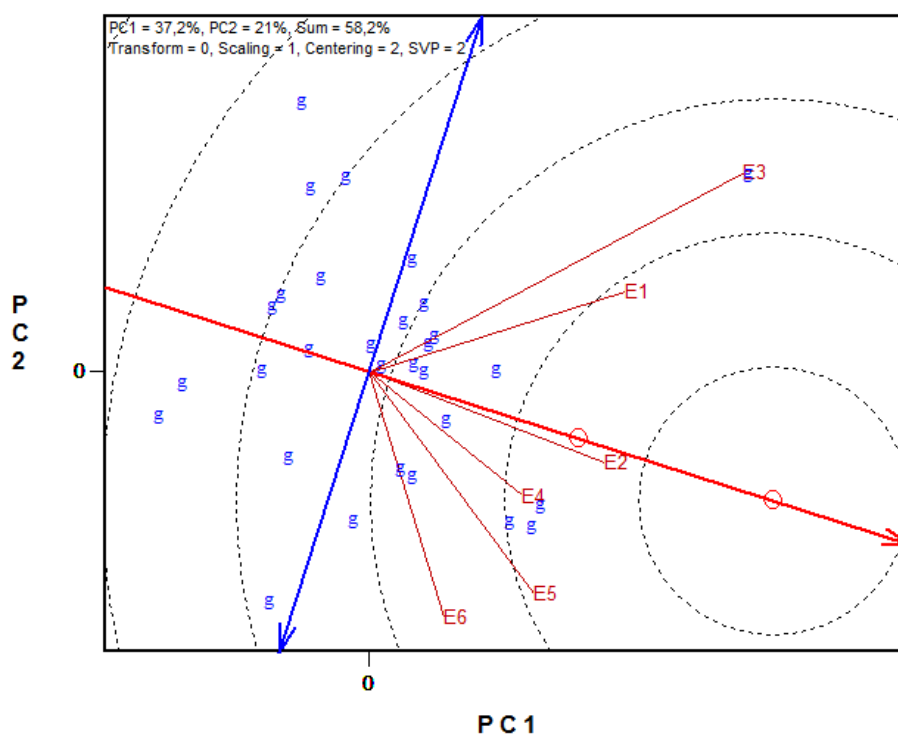


Figura 8 Discriminação e representatividade dos ambientes (TCH)

Os ambientes E6, E5 e E4 possuem solos de textura média e arenosa com menor capacidade de retenção de água e menor fertilidade, disponibilizando condição menos favorável para o desenvolvimento, além do menor volume de chuva recebido durante todo ciclo de experimentação, 2814mm (Figura 3) na média dos 3 locais. O tipo de vegetação que ocupava a área anteriormente ao plantio, também, não tem capacidade de agregar propriedades de melhoria ao solo.

Autores como Cooper et al. (1997), selecionando cultivares de trigo, concluíram que ambientes que passaram por baixo estresse ambiental foram bons preditores para produtividade dos genótipos, já a decorrência de déficit hídrico reduziu esta capacidade de predição. Observa-se um comportamento semelhante nos ambientes E1 e E2, ambientes caracterizados com latossolos vermelho de textura média ou argilosa, com significativa melhora na capacidade de retenção de água e fertilidade. Outro ponto forte que favorece estes ambientes é o volume de precipitação, ao longo do ciclo de experimentação 3887mm a média dos 2 ambientes, recebendo 38,13% a mais de chuva quando comparado à primeira divisão de ambientes (Figura 3).

Chaves (2001) sugeriu uma sequência de ações para proceder à estratificação de ambientes por meio da análise da interação genótipo x ambiente e inclui o confrontamento dos resultados de agrupamento com fatores previsíveis de ambiente, tais como região geográfica, tipo de solo, altitude, latitude, entre outros.

A função gráfica do biplot, apresentado na Figura 9, auxilia na identificação de genótipos superiores, assim como na definição ou estratificação de megaambientes, com fins de recomendação regionalizada ou de seleção para locais mais representativos para experimentação. Esta pode revelar a existência e discriminação de megaambientes dentro da rede de experimentos avaliada. Os genótipos que apresentam localização inferior no vetor (maior proximidade ao

centro) são menos responsivos em relação à interação com os ambientes dentro do mesmo setor (caso ocorra).

Sendo assim, na Figura 9 está apresentado o polígono do GGE biplot, em que foram encontrados 8 setores definidos pelo genótipo vencedor em cada um deles, dos quais foram agrupados quatro megaambientes, definidos pelos setores em que um ou mais ambientes estão presentes. Assim apresentaram -se divididos os megaambientes: (I) E6 e E4; (II) E3 e E2; (III) E5 e (IV) E1.

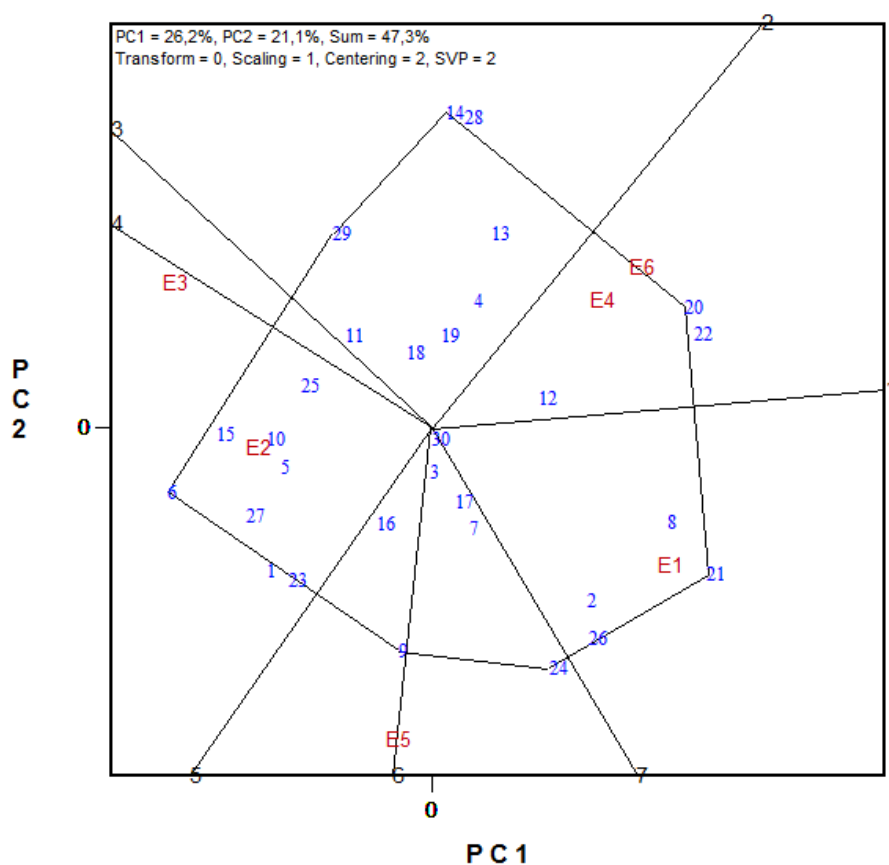


Figura 9 Polígono do GGEbiplot com representação gráfica “*Quem venceu ou foi melhor onde*” para carácter TPH

Com relação ao desempenho produtivo dos genótipos, aquele posicionado no vértice do polígono, considerando o megaambiente, apresentou melhor produtividade em ao menos um dos ambientes e manteve o resultado em comparação aos demais genótipos em teste. Assim, conforme apresentado dentro dos megaambientes, os genótipos que apresentaram melhor desempenho em TPH em E6 e E4 foram: 20, 22, 14 e 28 (RB966928). O segundo estrato definido por E3 e E2 mostrou como mais produtivos os genótipos 6, 1 e 23, e com bom desempenho 15, 27 e 25 (Figura 9). Já, em E5, o genótipo vencedor foi o 9 e em E1 o 21 apresentou a melhor performance, bem próximo ao 26 (RB855156). Os genótipos 2 e 8, também, apresentaram bons resultados para TPH.

Semelhante ao descrito acima, Guerra (2010), porém, utilizando o método AMMI, para avaliar adaptabilidade e estabilidade de quatorze clones precoces de cana-de-açúcar em onze ambientes no Estado do Paraná, em estágio de primeiro e segundo corte para o carácter TPH, também, identificou um genótipo com elevada média de TPH, adaptabilidade geral e boa estabilidade para região norte Paraná.

A figura 10 apresenta o biplot para o carácter TCH. É possível verificar que ocorreu uma redução no número de megaambientes formados, representados apenas por dois estratos. Para o megaambiente formado por E2, E1 e E3, verifica-se que o genótipo 21 apresentou melhor desempenho. No segundo megaambiente, formado por E6, E4 e E5, os genótipos 11, 13, 22 e a testemunha 26 (RB855156) apresentaram melhor performance. Os demais genótipos estão concentrados no centro do biplot, dificultando a discriminação do desempenho produtivo e responsividade ao ambiente, uma possibilidade é de que estes ambientes tenham sido estratificados pelas condições semelhantes de fertilidade, altitude e disponibilidade hídrica.

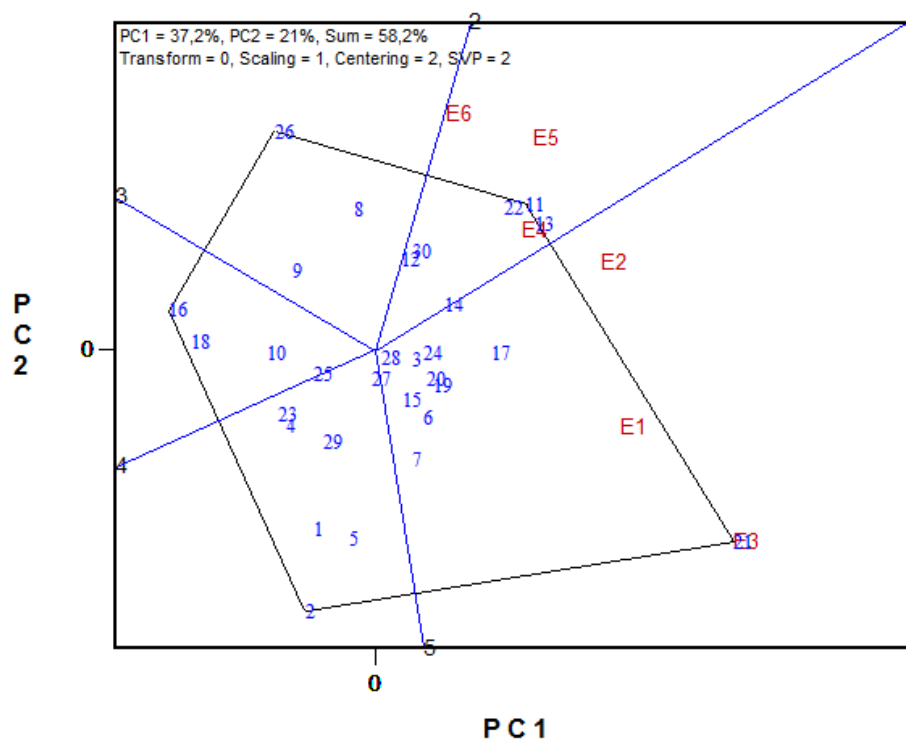


Figura 10 Representação gráfica “*Quem venceu ou foi melhor onde*” para carácter TCH

Em trabalhos como de Silveira (2012) foi avaliada adaptabilidade e estabilidade fenotípica de quinze genótipos de cana-de-açúcar cultivados em nove ambientes no Estado de Minas Gerais, pelo modelo AMMI. O autor, além de recomendar um genótipo para cultivo comercial, também, identificou um ambiente estável e seis genótipos com alta produtividade e adaptação específica a quatro ambientes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experimentação com genótipos em fase pré-comercial deve ser conduzida em ambientes com condições edafoclimáticas heterogêneas, com objetivo de permitir estudos da interação genótipo x ambientes e possibilitar a caracterização correta do comportamento dos genótipos em relação à adaptabilidade e estabilidade.

A confirmação de informações em duas safras proporcionou maior segurança na recomendação com base na regionalização obtida. Em cana-de-açúcar, a avaliação de genótipos em avançados estágios de corte é de elevada importância.

As avaliações para o carácter TPH na interrelação dos genótipos e ambientes mostrou-se mais discriminatória em relação ao carácter TCH. Portanto, a variabilidade fenotípica para produtividade de açúcar foi maior nos ambientes com maior fertilidade, disponibilidade hídrica e temperatura.

6 CONCLUSÕES

Alocação e condução de experimentos em diversos ambientes representa um elevado custo para os programas de melhoramento e, considerando que os ambientes E6 e E4 obtiveram resultados semelhantes tanto para TCH quanto para TPH, um destes ambientes pode ser eliminado considerando os ambientes avaliados neste trabalho.

Foi possível identificar o genótipo 21 com alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade em ao menos três ambientes dos locais avaliados, com significativa superioridade comparada às testemunhas.

Para TPH foi encontrado um número maior de megaambientes (4) comparado a TCH (2), indicando que a capacidade de acúmulo de sacarose dos genótipos sofre grande influência do efeito do ambiente, tornando muito importante o estudo da estabilidade dos genótipos considerando TPH.

REFERÊNCIAS

ANJOS, I. A.; SILVA, D. N.; CAMPANA, M. P. Cana-de-açúcar como forrageira. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2010. p. 725-745.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **BNDES aprova cinco novas usinas de álcool no valor de R\$ 1,8 bilhão**. 2008. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2008/20081204_not220_08.html>. Acesso em: 5 fev. 2015.

BLANCHE, S. B. et al. Stability comparisons between conventional and near-isogenic transgenic cotton cultivars. **Journal of Cotton Science**, Baton Rouge, v. 10, n. 1, p. 17-28, 2006.

BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. 523 p.

BOREM, A.; RAMALHO, M. P. Estresses abióticos: desafios do melhoramento de plantas nas próximas décadas. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa, MG: Suprema, 2012. p. 9-28.

BOYER, J. S. Plant productive and environment. **Science**, New York, v. 218, p. 443-448, 1987.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Registro nacional de cultivares**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 5 ago. 2015a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Governo decide pela elevação da mistura de etanol na gasolina a 27%**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina->

inicial?p_p_auth=CETi6Jnp&p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%3Fp_auth%3De33yS06N%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=2048599&_101_type=content&_101_urlTitle=governo-decide-pela-elevacao-da-mistura-de-etanol-na-gasolina-a-27-&redirect=http%3A%2F%3E. Acesso em: 20 abr. 2015b.

BRESSIANI, J. A. **Seleção sequencial em cana-de-açúcar**. 2001. 104 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

CASANOVES, F.; BALDESSARI, J.; BALZARINI, M. Evaluation of multienvironment trials of peanut cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 1, p. 18-26, 2005.

CAVATTE, P. C. et al. A fisiologia dos estresses abióticos. In: FRITSCHENETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa, MG: Suprema, 2012. p. 39-79.

CECCARELLI, S. Efficiency of plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 55, p. 87-97, Feb. 2015.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 675-712.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, v. 2, safra 2015/16, segundo levantamento. Brasília, 2015. 33 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_13_15_58_44_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 54 p.

COOPER, M. et al. Wheat breeding nurseries, target environments and indirect selection for grain yield. **Crop Science**, Madison, v. 37, p. 1168-1176, 1997.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480 p.

DUARTE, J. B.; RESENDE, M. D. V. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, p. 182-194, set. 2007.

DUARTE, J. B.; VENKOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”**. Ribeirão Preto: FUNPEC, 1999. 60 p.

FAN, X. M. et al. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 1, p. 220-228, 2007.

FERNANDES JÚNIOR, A. R. **Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2013. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2013.

FERRAUDO, G. M. **Comparação de modelos mistos, AMMI e Eberhart-Russel via simulação no estudo da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar**. 2013. 115 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

FIGUEIREDO, P. Um pouco de história. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELLOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Breve história da cana-de-açúcar e o papel do instituto agrônomo no seu estabelecimento no Brasil: cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p. 31-44.

FRITSCHÉ-NETO, R.; DOVALE, J. C.; CAVATTE, P. C. Melhoria para tolerância a estresses ou para eficiência no uso de recursos? In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa, MG: Suprema, 2012. p. 29-38.

GLAZ, B.; KANG, M. S. Location contributions determined via GGE biplot analysis of multi-environment sugarcane genotype-performance trials. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 3, p. 941-950, 2008.

GUERRA, E. P. **Avaliação da adaptabilidade e estabilidade de clones precoces de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2010. 132 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP dados históricos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da cana-de-açúcar via imagens de satélite**: mapa de cultivo. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

KANG, M. S.; AGGARWAL, V. D.; CHIRWA, R. M. Adaptability and stability of bean cultivars as determined via yield-stability statistic and GGE Biplot analysis. **Journal of Crop Improvement**, Berlin, v. 15, n. 1, p. 97-120, 2005.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoria genética, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELLOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p. 101-155.

LANDELL, M. G. A. et al. Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 110, n. 2, p. 18-24, 2005.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, 2003.

LEITE, M. S. O. **Análise multiambientales visando a recomendação regionalizada de clones de cana-de-açúcar**. 2011. 72 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

MA, B. L. et al. Graphic analysis of genotype, environment, nitrogen fertilizer, and their interactions on spring wheat yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 169-180, 2004.

MAREDIA, M. K.; RAIZER, D. A. Estimating overall returns to international agricultural research in Africa through benefit-cost analysis: a ‘best-evidence’ approach. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 41, p. 81-100, 2010.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; CALHEIROS, G. C. Hibridação de cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 205-251.

MATTOS, P. H. C. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Estado do Paraná pelos métodos AMMI e GGEbiplot**. 2012. 42 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MORRIS, M. A.; HEISEY, P. W. Estimating the benefits of plant breeding research: methodological issues and practical challenges. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 29, n. 3, p. 241-252, 2003.

NOBREGA, J. C. M.; DORNELAS, M. C. Biotecnologia e melhoramento da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. p. 39-56.

NOVAS variedades CTC9000 aptas para o Cerrado: variedades CTC. Piracicaba, 2013. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/variedades2013WEB3.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2015.

OLIVEIRA, K. M. **Desenvolvimento de marcadores moleculares EST-SSRs e mapeamento funcional em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2006. 186 p. Tese (Doutorado em Genética Vegetal e Melhoramento) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

OLIVEIRA, M. **Entre açúcares e genes**. 2012. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/10/086-091_etanol_200.pdf?ca6690>. Acesso em: 24 abr. 2015.

PERECIN, D. et al. Agronomic and genetic progress in sugar-cane breeding program. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 279-287, 2009.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2015. 451 p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2012. 328 p.

RAMBURAN, S.; ZHOU, M.; LABUSCHAGNE, M. Interpretation of genotype x environment interactions of sugarcane: identifying significant environmental factors. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, n. 3, p. 392-399, 2011.

REIS, A. O melhoramento genético e a expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado. **Revista UFG**, Goiânia, ano 11, n. 7, p. 14-17, dez. 2009.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-195, set. 2007.

RESENDE SOBRINHO, E. A. **Comportamento de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo Roxo, na Região de Ribeirão Preto-SP**. 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Catálogo nacional de variedades `RB` de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. 136 p.

SANDHU, S. K. et al. GGE Biplot analysis for cane and sugar yield from advanced- stage sugarcane trials in subtropical India. **Journal of Crop Improvement**, London, v. 28, n. 5, p. 641-659, 2014.

SHELBOURNE, C. J. A.; CAMPBELL, R. K. The impact of genotype-environmental interaction on tree improvement strategy. In: JOINT MASTING OF GENETICS, 1976, Bordeaux. **Proceedings...** Bordeaux, 1976. p. 73-93.

SILVEIRA, L. C. I. **Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar no Estado de Minas Gerais**. 2012. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

STEEL, R. G.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. Singapore: McGraw-Hill, 1997. 672 p.

TASSO JUNIOR, L. C. **Caracterização agrotecnológica de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região centro-norte do Estado de São Paulo**. 2007. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Multinacionais dominam 90% do mercado de açúcar e etanol**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/na-midia/3656033692036840550/multinacionais-dominam-90-por-cento-do-mercado-de-acucar-e-etanol/>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

YAN, W. et al. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.

YAN, W. et al. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 643-655, 2007.

YAN, W. et al. Two types of GGE Biplot for analyzing multienvironment trial data. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 656-663, 2001.

YAN, W.; RAJCAN, I. Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 1, p. 11-20, Jan. 2002.

YAN, W.; TINKER, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, p. 623-645, 2006.